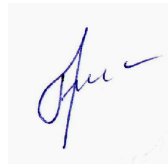


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ГРИЦЕНКО АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 550.832.57:550.838

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ
КОРИСНИХ КОМПОНЕНТІВ В ЗАЛІЗОРУДНОМУ МАСИВІ**

Спеціальність 05.11.13
«Прилади і методи контролю та визначення складу речовин»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Криворізькому національному університеті Міністерства освіти і науки України на кафедрі моделювання та програмного забезпечення.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Азарян Альберт Арамаїсович
Криворізький національний університет
професор кафедри моделювання та
програмного забезпечення.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Масвський Станіслав Михайлович
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського», професор кафедри приладів і систем
неруйнівного контролю;

кандидат технічних наук, доцент
Монченко Олена Володимирівна
Національний авіаційний університет,
доцент кафедри біокібернетики та аерокосмічної
медицини.

Захист відбудеться **«11» травня 2021 р. о 15:00** годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.18 в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою:
03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37, корп. 1, ауд.293-1.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою:
03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розіслано **«07» квітня 2021 р.**

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.002.18
доктор технічних наук, професор



Н.І. Бурау

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Гірничо-металургійний комплекс України є важливою галуззю економіки, він забезпечує майже п'яту частину внутрішнього валового продукту та значні валютні надходження. По світових запасах залізної руди Україна займає перше місце, а по виробництву залізорудної продукції – сьоме місце у світі. Аналіз конкурентоспроможності гірничо-збагачувальних комбінатів доводить, що для збереження України серед основних гравців на міжнародному ринку, необхідно, насамперед, забезпечити високу якість як залізорудної сировини, так і кінцевої продукції – концентрату.

Оперативний контроль вмісту масової долі заліза загального і заліза магнетитового в свердловинах є одним з важливих процесів, що забезпечує відповідну якість залізорудної сировини на етапах її видобутку та переробки. Своєчасна і достовірна інформація про фізико-хімічні властивості гірських порід в вибухових свердловинах, що отримана із застосуванням комплексної технології синхронного визначення речовинного складу на основі результатів взаємодії з гірничою масою іонізуючого і електромагнітного випромінювання, забезпечує запланований рівень якості руди, зменшує втрати корисного компонента та знижує собівартість видобутку та переробки.

Для визначення в вибухових свердловинах вмісту заліза загального та заліза магнетитового дотепер застосовувалися два різні свердловинні пристрої (зонди) з аналоговими реєстраторами, що знижувало як точність, так і продуктивність процесу вимірювання. Вихідні дані з аналогових реєстраторів потребували подальшої обробки кваліфікованим персоналом, що займало додатковий час та зменшувало інформаційну цінність отриманих даних.

Аналіз відомих методів і приладів оперативного контролю доводить, що для підвищення достовірності результатів неруйнівного контролю вмісту заліза в масиві гірських порід потребують додаткового дослідження впливи чинників, що зменшують точність.

Так, недостатньо досліджені впливи різних ступенів обводненості, наявності бурового шламу, стану поверхні, фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей на точність вимірів приладів визначення речовинного складу у гірничій масі. Ці проблеми є актуальними для усіх залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) України, тому вимагають подальших досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі моделювання та програмного забезпечення Криворізького національного університету, і відповідає цільовій програмі «Розробка методів і засобів оперативного контролю і управління якістю чорних, кольорових і нерудних корисних копалин на гірничовидобувних і гірничопереробних підприємствах України». Обраний науковий напрям забезпечувався виконанням наступних науково-дослідних робіт, в яких автор брав безпосередню участь: «Розроблення теорії векторного поля розсіяного гамма-випромінювання та перетворення хвиль Лява і Стоунлі в магнітному полі

для керування якістю мінеральної сировини» (№ ДР 0109U002335); «Дослідження фізико-хімічних властивостей залізистих кварцитів і каротаж вибухових свердловин» (№ ДР 0110U004443); «Дослідження процесів перетворення гамма-випромінювання, ультразвукових об'ємних і поверхневих хвиль на межах гетерофазних середовищ для оптимізації збагачувальних технологій» (№ ДР 0112U000359); «Дослідження факторів, які впливають на каротаж вибухових свердловин» (№ ДР 0111U005573); «Розроблення методу визначення мінералого-технологічних різновидів залізної руди з використанням надвисокочастотного електромагнітного випромінювання, гамма-випромінювання, та високоенергетичного ультразвуку» (№ ДР 0115U003030); «Дослідження впливу пульпи на результати каротажу вибухових свердловин в умовах ГЗК Кривбасу» (№ ДР 0112U003953). А також господарських договорів КНУ: «Дослідження фізико-хімічних властивостей залізистих кварцитів і каротаж вибухових свердловин» (№ 2-825-10); «Дослідження впливу обводненості на результат каротажу вибухових свердловин» (№ 26-945-13); «Дослідження основних і додаткових факторів, що впливають на точність каротажу вибухових свердловин» (№ 2-35-15); «Розробка функціональної, принципової схеми і комплексного алгоритму роботи інтелектуальних датчиків для оперативного контролю вмісту магнітного і загального заліза у підірваній, здрібненій та подрібненій гірничій масі» (№ 26-57-16).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є вирішення актуальної наукової задачі, що полягає в удосконаленні методів та засобів підвищення характеристик точності пристроїв визначення вмісту корисних компонентів (заліза загального та магнетитового) в залізорудній сировині шляхом синхронного використання результатів взаємодії радіаційних та електромагнітних полів з масивом гірських порід та врахування факторів, що заважають.

Для досягнення поставленої мети визначені наступні задачі:

1. Виконати критичний аналіз літературних джерел та структурний аналіз відомих розробок оперативного контролю вмісту корисних компонентів в залізорудній сировині;

2. Вибрати та обґрунтувати оптимальний метод визначення заліза магнетитового, розробити макет пристрою, що його реалізує та провести апробацію;

3. Вибрати та обґрунтувати метод визначення заліза загального, розробити макет пристрою для його реалізації, розробити математичну модель для оптимізації геометрії зони вимірювання;

4. Провести комплекс лабораторних досліджень для визначення факторів, що впливають на точність вимірів, і надати оцінку ступеню впливу кожного з них;

5. Розробити методи та засоби синхронного визначення вмісту корисних компонентів у свердловинах та провести дослідження стабільності їх функціонування в лабораторних та промислових умовах.

Об'єкт дослідження – процес взаємодії електромагнітних полів та

іонізуючого випромінювання з масивом гірських порід для визначення вмісту корисних компонентів залізорудної сировини.

Предмет дослідження – методи та засоби визначення вмісту заліза загального і заліза магнетитового в вибухових свердловинах для оперативного контролю вмісту корисного компонента в умовах природного залягання гірських порід.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань застосований комплексний метод досліджень, що включає в себе теоретичні й інструментальні методи: планування експериментів, математичну обробку їх результатів; аналіз фізико-хімічного складу руд в залежності від варіацій технологічних чинників, теоретичні узагальнення з використанням теорії взаємодії гамма-випромінювання та електромагнітних полів з гірськими породами, методи математичного, імітаційного та комп'ютерного моделювання, експериментальні дослідження в лабораторних і промислових умовах. У роботі використано теорії гірничої справи, електротехніки, радіометрії, алгоритмування та управління; для обробки та узагальнення отриманих даних застосовано методи чисельного і статистичного аналізу.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Уперше обґрунтовано та розроблено синхронний метод визначення якісних характеристик залізорудної сировини для підвищення точності оперативного контролю вмісту заліза загального та магнетитового у вибухових свердловинах на основі синергетичної композиції інтегрального потоку розсіяного низько-енергетичного гамма-випромінювання та величини магнітної сприйнятливості гірських порід.

2. Для зменшення впливу обводненості свердловини на точність вимірювання вмісту заліза загального обґрунтовано та розроблено метод, що базується на використанні масштабних коефіцієнтів і кореляційної залежності між залізом загальним і залізом магнетитовим.

3. Набув подальшого розвитку селективний гамма-гамма метод визначення вмісту заліза загального в сировині завдяки оптимізації геометричних параметрів зони вимірювання, що зменшує вплив нерівностей поверхні стінки свердловини на точність.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Розроблено макет пристрою для вимірювання магнітної сприйнятливості гірських порід на основі автогенераторного магнітометричного перетворювача, що дозволив визначати вміст заліза магнетитового в зразках залізної руди Криворізького басейну з похибкою, що не перевищує $\pm 0,81$ %;

2. Доведено доцільність використання в якості джерела іонізуючого випромінювання для селективного гамма-гамма методу ізотопу Am-241 , що дозволяє визначити вміст заліза загального в рудах Криворізького басейну з похибкою, що не перевищує $\pm 0,78$ %;

3. Розроблено комбінований свердловинний пристрій для визначення якісних характеристик речовинного складу залізорудної сировини, який містить в єдиному корпусі селективний гамма-гамма, та магнітометричний канали,

конструктивне розміщення яких забезпечує внесення в їх вимірювальну зону ідентичних досліджуваних об'єктів;

4. Виконана інтеграція комбінованого свердловинного пристрою в мобільну станцію «Кар'єр-Кривбас» та проведена модернізація дозволила отримувати на екрані оператора станції синхронно кількісні значення розподілу заліза загального та заліза магнетитового по глибині свердловини миттєво, в момент проведення вимірювань, без додаткових витрат часу на обробку даних;

5. Комбінований свердловинний пристрій в складі мобільної станції «Кар'єр-Кривбас» впроваджений на партії рудникової шахтної геофізики державного підприємства «Укрчорметгеологія» та кар'єрі гірничо-збагачувального комплексу «Укрмеханообр» ПрАТ «ММК ім. Ілліча».

Особистий внесок здобувача. Наукові результати роботи отримані автором самостійно. Здобувач є автором наукової ідеї, теоретичних й експериментальних досліджень, включаючи теоретичні результати та наукову новизну, що винесені на захист.

У роботах, виконаних у співавторстві, автором виконано: [1] – аналіз і класифікація факторів, що впливають на вибір метода контролю якості залізорудної сировини, систематизація фізико-технічних і технологічних факторів що впливають на точність контролю якості, лабораторні дослідження оптимізації гамма-гамма методу визначення вмісту корисного компонента, розробка та оптимізація магнітометричного методу контролю якості; [2] – розроблено та обґрунтовано методи контролю якості в обводнених свердловинах, розроблено алгоритм роботи, узагальнено їх переваги та недоліки; [4] – розроблено функціональну схему мобільної станції та алгоритм її роботи; [7] – розроблено функціональну схему способу реєстрації іонізуючого випромінювання, та проведено лабораторні дослідження взаємодії гамма-випромінювання з залізорудною сировиною; [8] – розроблено математичне обґрунтування геометричних параметрів зони вимірювання гамма-гамма методу; [9] – розроблено функціональну схему індуктивного методу визначення вмісту заліза магнетитового; [10] – розроблено алгоритм роботи мобільної станції та її систему інформаційних потоків; [12] – проведено лабораторні дослідження взаємодії гамма-випромінювання з залізорудною сировиною, виконано математичну обробку та узагальнення результатів; [13] – розроблено аналітичні вирази підвищення ефективності реєстрації результатів взаємодії гамма-випромінювання з гірничою масою; [14], [16], [18], [19] – удосконалено функціональні схеми пристрів визначення вмісту корисних компонентів залізорудної сировини; [17] – розроблено алгоритм роботи пристрою контролю вмісту корисного компоненту; [20] – розроблено методику аналізу та відображення розподілу корисних компонентів по глибині свердловини; [22] – розроблено методику та проведені лабораторні дослідження впливу повітряного зазору на точність гамма-гамма методу, узагальнення результатів досліджень; [23] – досліджено вплив геометричних параметрів зони вимірювань на точність гамма-гамма методу; [24] – розроблено функціональну схему, та принцип роботи пристрою визначення магнітної сприйнятливості залізорудної сировини.

Автором розроблено програмне забезпечення прийому, обробки і відображення результатів вимірів у вигляді таблиць та діаграм, та збереження результатів на електронному носії. При безпосередній участі автора здійснювалася розробка, виготовлення, налагодження та випробування комбінованого свердловинного пристрою.

Апробація результатів дисертації. Викладені у дисертаційній роботі результати досліджень доповідалися та обговорювалися на міжнародних та загальнодержавних науково-практичних конференціях: на VI міжнародному симпозіумі «Якість мінеральної сировини-2011» (м. Ялта 2011 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні управляючі системи та технології» (м. Одеса 2013 р.), VII міжнародному симпозіумі «Якість мінеральної сировини-2011» (м. Кривий Ріг 2014 р.), IV міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні наукові досягнення та їх практичне застосування» «Modern Scientific Achievements and Their Practical Application» (м. Дубай, 2017 р.), XIV міжнародній конференції «Наука і суспільство» «Science and society» (м. Гамільтон 2019 р.).

Проміжні результати досліджень доповідались та обговорювались на наукових семінарах кафедри приладів і систем неруйнівного контролю Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» та кафедри моделювання та програмного забезпечення Криворізького національного університету.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 24 наукові праці, у тому числі 1 монографія, 8 статей у наукових фахових виданнях (з них 2 статті у фахових виданнях України категорії «А»), 6 патентів України на корисну модель, 5 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій, 4 публікації в інших виданнях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертаційної роботи складає 229 сторінок друкованого тексту, з них 155 сторінок основного тексту, містить 90 рисунків, 14 таблиць, список використаних джерел з 93 найменувань на 10 сторінках і 5 додатків на 40 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано вибір теми дисертації, актуальність проблеми, сформульовано мету й завдання досліджень, визначено об'єкт, предмет та ідею роботи, сформульовано наукову новизну й основні теоретичні і практичні результати дисертації, особистий внесок здобувача, а також дані про апробацію й публікації досліджень, структуру роботи.

У першому розділі розглянуто сучасний стан контролю показників вмісту корисних компонентів в залізорудній сировині, при її видобутку відкритим способом. Виконано аналіз систем та способів контролю, визначено їх недоліки; узагальнено переваги методів неруйнівного контролю якості руд.

Системно проаналізовано фактори, що знижують точність визначення вмісту корисних компонентів в залізорудній сировині.

Розглянуто магнітометричний метод, який базується на використанні залежності величини магнітної сприйнятливості (χ) гірських порід від кількості в них магнетиту ($Fe_{\text{магн}}$), що всебічно доведено багатьма попередніми дослідженнями (Барінов Е.А., Глухих І.І., Кудрявцев Ю.І., Мейер В.А., Попов А.А., Тимофєєв Є.В., Тихонов А.Н., Шульгін В.С. та ін.). Визначено, що для переважної більшості родовищ магнетитових кварцитів, в тому числі й Криворізького басейну, відмінною рисою є залежність $\chi = f(Fe_{\text{магн}})$ з високою надійністю апроксимації ($r = 0.85 \dots 0.95$), що є сприятливою і основоположною передумовою для кількісного визначення вмісту заліза магнетитового.

Поряд з необхідністю опробування залізних руд по залізу магнітному, в процесі видобутку існує проблема оперативного контролю якості руд по залізу загальному. Для цієї мети ще в 60-х ХХ сторіччя роках був запропонований гамма-гамма метод в селективному варіанті, що заснований на вимірюванні ефектів взаємодії гамма-квантів низької енергії ($E \leq 300$ кеВ) з речовиною. При цьому в якості джерел низьких енергій використовують радіонукліди Со-57, Se-75, Ам-241 та ін. Значний внесок в теоретичний і практичний розвиток селективного гамма-гамма методу оперативного контролю якості руд чорних металів внесли вчені Азарян А.А., Большаков А.Ю., Леман Е.П., Очкур А.П., Пак Ю.Н., Пшеничний Г.А., Старчик Л.П., Філіппов Є.М та ін. В умовах гірничо-видобувних підприємств вміст заліза загального може контролюватися за допомогою спеціальних рудничних радіометрів, що реєструють розсіяну середовищем частину гамма-випромінювання (N_p). Величина цієї частини N_p залежить від перерозподілу ефектів, що супроводжують процес опромінення гірничої маси – фотоелектричного поглинання і комптонівського розсіювання. Визначення вмісту заліза загального спирається на наявність тісного кореляційного зв'язку між масовою часткою корисного компоненту, щільністю породи та показником інтенсивності розсіяного гамма-випромінювання.

Критичний аналіз методів та пристроїв визначення вмісту корисних компонентів в залізорудному масиві показав, що магнітометричний метод є найбільш придатним для визначення вмісту заліза магнетитового, а гамма-гамма метод в селективному варіанті - для визначення вмісту заліза загального.

Ідея роботи полягає у обґрунтуванні можливості синхронного застосування результатів взаємодії електромагнітних і радіаційних полів з гірськими породами залежно від їх фізико-хімічних властивостей у вибухових свердловинах для одночасного визначення вмісту заліза загального та магнітного з метою підвищення точності вимірів.

У другому розділі розглянуто особливості магнітометричного методу визначення вмісту заліза магнетитового, та найбільш доцільний і можливий для використання в умовах вибухової свердловини – індуктивний. Цей метод заснований на зміні індуктивності L електричної вимірювальної котушки при

внесенні феромагнітного матеріалу з деякою магнітною сприйнятливістю χ в змінне магнітне поле, створюване даною котушкою.

Для реєстрації магнітної сприйнятливості гірських порід в природних умовах їх залягання, була розроблена функціональна схема (рис 1) і виготовлений макет автогенераторного магнітометричного перетворювача (МП). На основі якого розроблена лабораторна установка, (загальний вигляд зображено на рис. 2.), для визначення магнітної сприйнятливості зразків залізорудної сировини Криворізького басейну.

Принцип дії МП заснований на реєстрації індуктивності вимірювальної електричної котушки - індуктивного перетворювача (ІП), (в змінне магнітне поле якого вноситься досліджувана гірська порода) за допомогою автогенератора, частота коливань якого залежить від індуктивності.

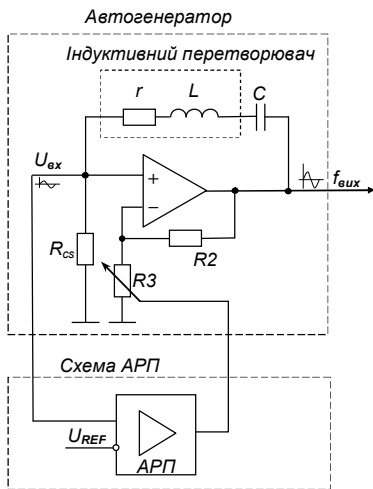


Рис 1. Функціональна схема автогенераторного МП.

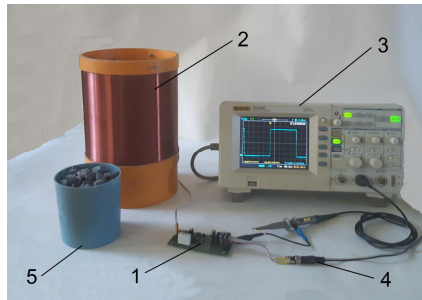


Рис. 2. Загальний вигляд лабораторної установки для визначення магнітної сприйнятливості залізної руди на основі автогенераторного МП:
1- електронна плата автогенераторного МП;
2 - соленоїд; 3 - цифровий осцилограф; 4 - роз'єм блока живлення; 5 - залізна руда в циліндричній ємності.

При розробці автогенераторного МП встановлено, що для його побудови найбільш раціонально використовувати операційний підсилювач (ОП), в колі зворотного зв'язку (ЗЗ) якого встановлені фазозсувні, або резонансні елементи: міст Вина, подвійний Т-подібний міст, фазозсувний RC-ланцюг.

При розробці автогенераторного МП обрано схему побудови автогенераторного МП, що являє собою автогенератор гармонійних коливань на ОП, позитивний ЗЗ якого утворений частото задаючим послідовним коливальним rLC -контуром з індуктивним перетворювачем і струмозадаючим резистором R_{cs} , а також схемою автоматичного регулювання підсилення (АРП), який виконує інерційну стабілізацію амплітуди струму через контур і індуктивний перетворювач, порівнюючи її з опорною напругою U_{REF} .

Магнітна сприйнятливість S_x досліджуваної гірничої маси визначається по співвідношенню величин частоти коливань на виході МП «в повітрі» (f_0) і з гірничою масою в магнітному полі вимірювальної котушки (f_1):

$$S_x = \frac{(f_0)^2 - (f_1)^2}{(f_1)^2} = \left(\frac{f_0}{f_1} \right)^2 - 1.$$

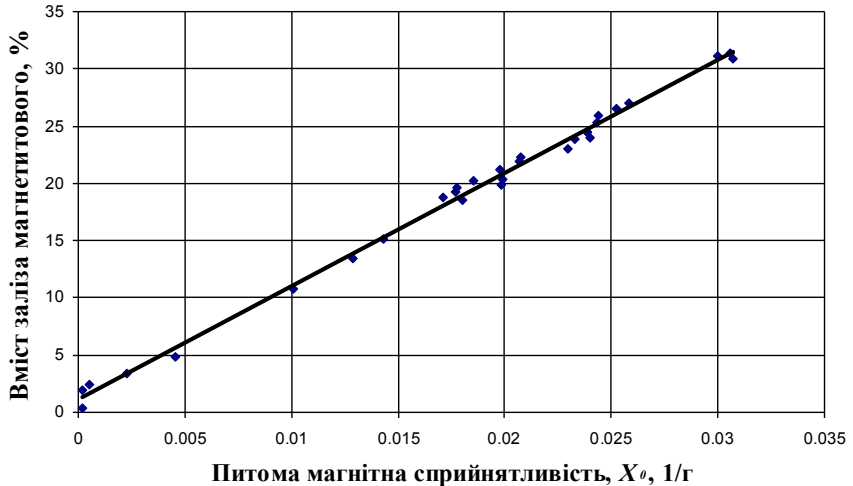


Рис. 3 Графік залежності вмісту заліза магнетитового від питомої магнітної сприйнятливості.

Лабораторна установка для визначення ефективної магнітної сприйнятливості складається з соленоїда діаметром 180 мм і висотою 230 мм (дріт намотаний в один шар виток до витка), електронної плати автогенераторного МП, блоку живлення, цифрового осцилографа, що ввімкнений в режимі вимірювання частоти і електронних ваг з точністю вимірювання 0,1 г. За допомогою цієї установки було встановлено залежність показника вмісту заліза магнетитового від магнітної сприйнятливості (рис. 3).

Запропонована модель автогенераторного магнітометричного перетворювача дозволяє визначити вміст заліза магнетитового у різних зразках руди. При цьому похибка вимірювань при порівнянні з даними хімічного аналізу не перевищує $\pm 0,81$ %.

У третьому розділі розглянуто взаємодію іонізуючого випромінювання з гірськими породами. Доведено переваги селективного гамма-гамма методу для визначення вмісту заліза загального в залізорудній сировині.

Розглянуто засоби реєстрації іонізуючого випромінювання. Для подальших досліджень в якості реєстратора гамма-випромінювання обрано сцинтиляційні детектори, які мають ряд переваг над іншими засобами, а саме - високу чутливість (ефективність), до гамма-променів; велику роздільну

здатність у часі ($\tau = 10^{-9}$ с.); здатність розрізняти елементарні частки по їх енергії.

Розглянуто основні принципи розрахунку інтенсивності потоку гамма-випромінювання та різновиди конструкцій блоків ядерно-фізичної апаратури.

Розроблено математичну модель оптимізації геометричних параметрів зони вимірювання (рис. 4) із застосуванням апаратури селективного гамма-гамма методу. Отримано аналітичний вираз, що дозволяє досліджувати залежність інтенсивності вторинного гамма-випромінювання N від відстані h між робочою поверхнею вимірювального приладу і досліджуваною поверхнею при різних значеннях геометричних параметрів R і α .

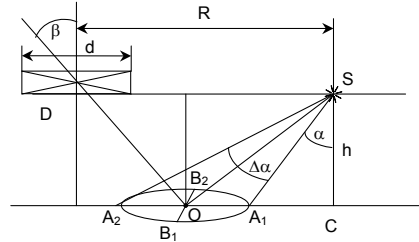


Рис. 4 Геометрична схема реєстрації розсіяного гамма-випромінювання

$$N = A \cdot \frac{Q \cdot d^2}{64} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\Delta \alpha}{2} \right) \cdot \frac{h \cdot \cos^3 \alpha}{\left(R^2 \cos^2 \alpha - R \cdot h \cdot \sin 2\alpha + h^2 \right)^{3/2}},$$

де: Q – активність джерела гамма-випромінювання; A – коефіцієнт, що характеризує ступінь розсіювання первинного потоку гама-випромінювання від досліджуваної поверхні (альbedo); d – діаметр реєструючого кристалу; $\Delta \alpha$ – кут колімації випромінювання; h – відстань від детектора до досліджуваної поверхні; R – відстань від джерела гамма-випромінювання до детектора; α – кут нахилу джерела гамма-випромінювання.

Для визначення координати точки інверсії h_0 отримано аналітичний вираз:

$$h_0 = R \cdot \frac{\cos \alpha \cdot \left(\sin \alpha + \sqrt{1 + 7 \cos^2 \alpha} \right)}{4}.$$

Також встановлено вираз, що описує ширину зони інверсії Δh , в межах якої зміна величини інтенсивності N не перевищує задану величину ε :

$$\Delta h = R \cdot \frac{2 \cos \alpha \cdot x_0 \left(1 - 2x_0 \sin \alpha + x_0^2 \right) \cdot \sqrt{2 \cdot \varepsilon}}{\sqrt{2x_0^4 - 14x_0^3 \sin \alpha - x_0^2 \left(5 - 2 \sin^2 \alpha \right) + 4x_0 \sin \alpha - 1}},$$

$$\text{де } x_0 = \frac{\sin \alpha + \sqrt{1 + 7 \cos^2 \alpha}}{4}.$$

За допомогою лабораторної установки встановлено залежність вмісту заліза загального від зареєстрованої інтенсивності інтегрального потоку розсіяного гамма-випромінювання при застосуванні в якості джерела гамма-

випромінювання ізоотопу Am-241 (рис. 5), та визначено похибку вимірювань - $\pm 0,78\%$. Цим самим було підтверджено придатність та високу ефективність застосування селективного гамма-гамма методу для визначення вмісту заліза загального в рудах Криворізького басейну.



Рис. 5 Графік залежності вмісту заліза загального від інтенсивності розсіяного гамма-випромінювання

У четвертому розділі розглянуто фактори, що впливають на точність вимірювання вмісту корисного компоненту. При застосуванні гамма-гамма методу істотний вплив здійснюють чинники, пов'язані зі зміною фізичних і хімічних властивостей досліджуваних речовин, а також мінливість геометричних умов вимірювань, тобто: елементний склад гірських порід і руд, їх вологість, відстань між зондом і поверхнею досліджуваного середовища, чужорідний прошарок між досліджуваною поверхнею та зондовим пристроєм.

Застосування ефективного атомного номеру ($Z_{ef.}$) дало змогу оцінити величину похибки вимірювань, яка становить $0,744\%$ заліза при зміні $Z_{ef.}$ на одиницю. На відміну від інших фізико-хімічних параметрів гірських порід, $Z_{ef.}$ визначається лише елементним складом мінеральної сировини, на нього не впливають різновиди хімічних зв'язків, або фізичний стан.

Аналіз впливу речовинного складу руд дозволив визначити величину похибки визначення вмісту заліза $Aq_{екв}$ при зміні вмісту домішкових компонентів на 10% , що наведено у таблиці 1. Враховуючи, що основним домішковим компонентом є кремнезем, то цей компонент був обраний в якості опорного. З даних таблиці 1 видно, що за наявності у складі гірничої маси (наповнювача) хімічних елементів з атомним номером (Z) менше 14, еквівалентний вміст заліза знижується, а наявність важчих елементів, навпаки – збільшує еквівалентний вміст $Aq_{екв}$. Дослідження залежності інтенсивності розсіяного гамма-

випромінювання від ефективного атомного номера довело, що зі збільшенням ефективного атомного номеру зменшується інтенсивність випромінювання за експоненціальним законом.

Таблиця 1

Вплив речовинного складу залізної руди на похибку визначення вмісту заліза загального гамма-гамма методом.

Хімічний елемент	Na	Mg	Al	Si	P	S	Ca	Ti	Cr	Mn
Z	11	12	13	14	15	16	20	22	24	25
$\Delta q_{\text{екв}}, \%$	-0.86	-0.5	-0.31	0	0.36	0.77	2.99	4.5	6.3	7.3

Дослідження впливу щільності на інтегральний потік розсіяного гамма-випромінювання довело обернено пропорційну залежність, що пояснюється фізичними властивостями залізних руд, в яких корисний компонент має більшу об'ємну вагу, ніж породи, що вміщують.

Також було досліджено вплив повітряного зазору на точність вимірів. Залежність між інтенсивністю інтегрального потоку розсіяного гамма-випромінювання від відстані вимірювального блоку до поверхні гірничої маси наведено на рис. 6. Характер впливу повітряного зазору можна розділити на 3 зони: доінверсійну 0-9 мм (інтенсивність зі збільшенням відстані зростає), інверсійну 9-13 мм (інтенсивність при зміні відстані майже не змінна) та заінверсійну, понад 13 мм (зниження інтенсивності зі збільшенням відстані).



Рис. 6 Графік залежності інтенсивності гамма-випромінювання від відстані вимірювального блоку до поверхні свердловини.

Дослідження впливу вологості на точність в діапазоні природного вмісту води в гірничій масі від 2 до 7 % довело, що похибка вимірювань знаходиться в межах визначеної точності гамма-гамма методу $\pm 0,5 \%$.

У п'ятому розділі запропоновано метод синхронного визначення вмісту корисних компонентів в залізорудному масиві, що реалізується розробкою комбінованого свердловинного пристрою, в єдиному корпусі якого поєднана апаратура селективного гамма-гамма та магнітометричного каналів. Це дозволяє одночасно отримувати достовірну інформацію про вміст заліза загального і магнетитового уздовж одного сектора циліндричної поверхні свердловини. Завдяки аналізу ідентичних об'єктів гірничої маси за двома параметрами, досягається синергетичний ефект виявлення ознак факторів, що впливають на точність вимірювань.

Досліджено взаємозв'язок вмісту заліза загального та магнетитового для руд другого залізного горизонту родовища Велика Глеюватка, та встановлено тісний кореляційний зв'язок цих параметрів (рис. 7).

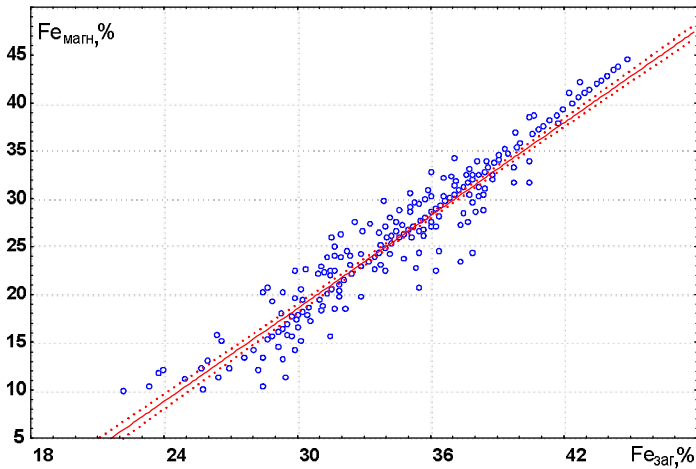


Рис. 7. Залежність $Fe_{\text{магн}}$ від $Fe_{\text{заг}}$ родовища Велика Глеюватка (другий залізистий горизонт).

Аналітичний вираз залежності має вигляд:

$$Fe_{\text{магн}} = -29.94 + 1.6161 Fe_{\text{заг}}$$

де $Fe_{\text{магн}}$ - вміст заліза магнетитового, %; $Fe_{\text{заг}}$ - вміст заліза загального, %.

Обґрунтовано та розроблено функціональну схему пристрою (рис. 8), на основі якої було виготовлено прототип комбінованого свердловинного пристрою.

В якості первинного вимірювального перетворювача гамма-гамма каналу використовується сцинтиляційний детектор (NaI(Tl)), що перетворює гамма-кванти в фотони, і фотоелектронний помножувач (ФЕП), що перетворює фотони в імпульси електричного струму. Сигнал з виходу ФЕП надходять на два

ідентичні канали порівняння і рахунку, що складаються з компаратора, цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) і лічильника.

У цих каналах відбувається порівняння амплітуди імпульсів з деяким рівнем, заданим програмно за допомогою ЦАП для кожного каналу.

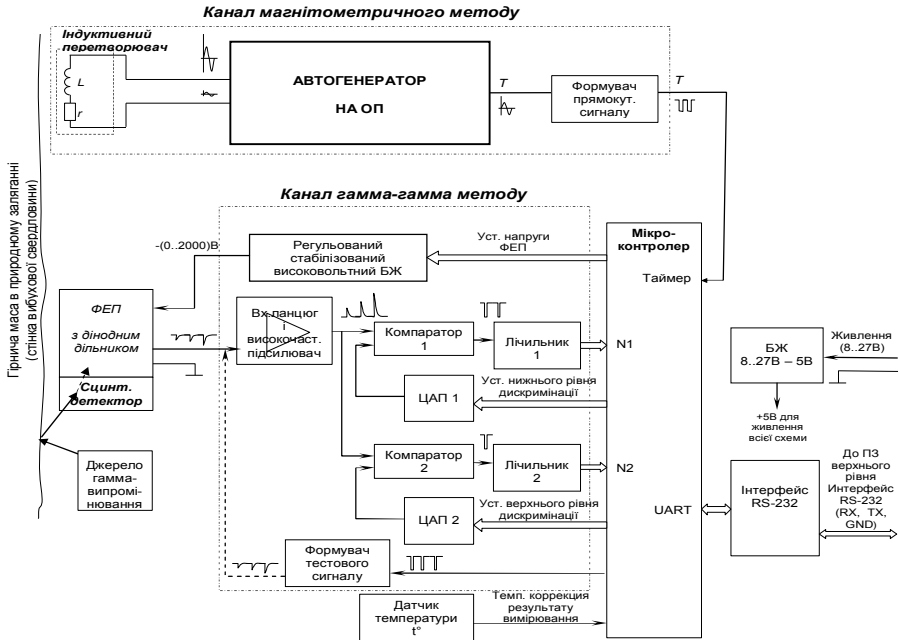


Рис. 8 Функціональна схема комбінованого свердловинного пристрою.

Якщо амплітуда вхідного імпульсу перевищує заданий рівень - значення лічильника збільшується на одиницю. У каналі 1 підраховується загальна кількість імпульсів (N1) з амплітудою вище нижнього рівня дискримінації. У каналі 2 підраховується число імпульсів (N2) з амплітудою вище верхнього рівня дискримінації. Далі мікроконтролер віднімає із значення N1 значення N2, і, таким чином, отримує число імпульсів у вікні дискримінації. Нижній і верхній рівні дискримінації встановлюються програмно. Таке технічне рішення дозволяє точно виділити інформативну область спектра зареєстрованого гамма-випромінювання, за рахунок чого підвищується точність вимірювання вмісту заліза. Синхронно мікроконтролером підраховується число імпульсів, що надходять від магнітометричного каналу, та забезпечується обмін даними через інтерфейс RS-232 з програмним забезпеченням верхнього рівня, яке обчислює та відображає інформацію про вміст корисних компонентів.

Для зменшення впливу обводненості свердловини на вимірювання гамма-гамма методом було запропоновано та обґрунтовано метод використання масштабних коефіцієнтів та встановленого кореляційного зв'язку заліза

загального та магнетитового. Розроблено алгоритм аналізу та корегування даних синхронного методу, який визначає обводнені інтервали свердловини та уточнює в них результати контролю вмісту заліза загального.

Виконано інтеграцію комбінованого пристрою до складу мобільної станції «Кар'єр-Кривбас», проведено ряд лабораторних та промислових випробувань. Оцінка точності вимірювань здійснювалась на основі співставлення показань комбінованого свердловинного пристрою з свердловинними зондовими пристроями станції «Кар'єр-1», апаратура якої була попередньо відкалібрована із застосуванням проб хімічного аналізу. На рис. 9 наведено діаграми співставлення розподілу корисних компонентів по одній з свердловин. Критерії оцінки збіжності показань двох станцій, отриманих в результаті промислових випробувань, наведені в таблиці 2.

Точність збігу вимірювань двох станцій становить: $\pm 1,44\%$ по залізу загальному, та $\pm 1,68\%$ по залізу магнетитовому.

Таблиця 2

Коефіцієнти кореляції збіжності показників

Корисний компонент	Номери свердловини								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fe _{заг.}	0,88	0,94	0,92	0,94	0,77	0,90	0,87	0,82	0,74
Fe _{магн.}	0,8	0,81	0,85	0,88	0,89	0,84	0,98	0,85	0,73

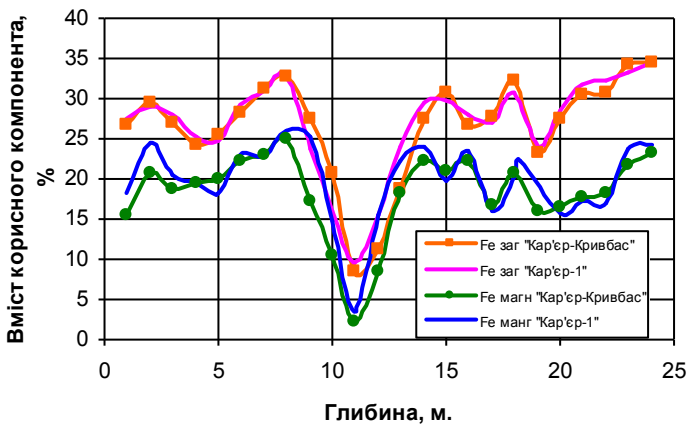


Рис. 9 Розподіл вмісту корисних компонентів по глибині свердловини

Промислові випробування запропонованих методів оперативного контролю вмісту заліза загального в обводнених свердловинах довели підвищення точності вимірювань в 3,5 рази, до рівня $\pm 2,4\%$.

Випробування мобільної станції «Кар'єр-Кривбас» довели можливість та доцільність використання запропонованих методів контролю вмісту заліза

загального і заліза магнетитового у вибухових свердловинах, а також придатність застосування обчислювальних функцій для переходу до уточнених даних у обводнених свердловинах.

У додатках наведено акти про впровадження результатів дисертаційної роботи, тексти програмного забезпечення комбінованого свердловинного пристрою, опис протоколу обміну даними та діаграми промислових випробувань.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, у якій поставлено та вирішено актуальне науково-практичне завдання з удосконалення методів та засобів визначення вмісту корисних компонентів в залізорудному масиві за рахунок синхронного використання штучного іонізуючого випромінювання та електромагнітних полів, що дозволило підвищити точність визначення вмісту заліза загального та магнетитового.

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи полягають в наступному:

1) На основі критичного аналізу відомих методів неруйнівного контролю якісних характеристик залізорудної сировини в умовах свердловини, а також структурного аналізу відомих пристроїв контролю якості встановлено, що для визначення вмісту заліза загального найбільш доцільним є використання гамма-гамма методу, а для заліза магнетитового – магнітометричного методу;

2) Набув подальшого розвитку індуктивний метод визначення магнітної сприйнятливості залізорудної сировини, що полягає у розробці та створенні автогенераторного індуктивного перетворювача, який дозволяє визначити магнітну сприйнятливості залізорудної сировини. За допомогою цього перетворювача встановлено надійний кореляційний зв'язок між магнітною сприйнятливістю та вмістом заліза магнетитового, при цьому похибка вимірювань не перевищує $\pm 0,81$ %;

3) Набув подальшого розвитку селективний гамма-гамма метод для визначення вмісту заліза загального в залізорудній сировині, що полягає у розробці математичної моделі для обґрунтування оптимальних геометричних параметрів зони вимірювання. Досліджено та встановлено залежність інтенсивності інтегрального потоку розсіяного гамма-випромінювання від вмісту заліза загального, що підтверджує можливість та доцільність практичного використання даного методу для контролю якості, з забезпеченням точності вимірювань $\pm 0,78$ %;

4) Обґрунтовано заходи зі зниження похибки завдяки використанню синхронних методів вимірювання на основі проведених досліджень впливу речовинного складу, атомного номеру, щільності та вологості залізорудної сировини, а також величини повітряного зазору на точність вимірювань;

5) Уперше встановлено залежність вмісту заліза загального і заліза магнетитового для другого залізистого горизонту родовища Велика Глеюватка, що забезпечило подальший розвиток методів та засобів синхронного визначення вмісту корисних компонентів;

6) Розроблено та виготовлено макет комбінованого свердловинного пристрою. Удосконалено мобільну станцію «Кар'єр-Кривбас» шляхом оснащення комбінованим свердловинним пристроєм та відповідним програмним забезпеченням; комплексом випробувань доведено його працездатність, та високу точність вимірювань;

7) Результати проведених промислових випробувань, а також можливість практичного використання розроблених методів та пристроїв на підприємствах, підтверджено відповідними актами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гриценко А.Н. Оперативный контроль и управление качеством при добыче и переработке минерального сырья / А.А. Азарян, В.А. Азарян, В.В. Дрига А.Н. Гриценко, В.С. Моркун, А.А. Трачук, Ю.Е. Цыбулевский, А.В. Черкасов, А.В. Швыдкий. –ОКТАН PRINT, Прага:2020 -500 с. *Здобувачем виконано: аналіз і класифікація факторів, що впливають на вибір метода контролю, систематизація фізико-технічних і технологічних факторів що впливають на точність, дослідження оптимізації гамма-гамма методу контролю, розробка та оптимізація магнітометричного методу контролю;*

2. Гриценко А.Н. Методы синхронного каротажа сухих и обводненных скважин / А.А. Азарян, А.Н. Гриценко // Збірник наукових праць «Вісник Криворізького технічного університету». - 2011 - №27. – с. 258-262. *Здобувачем науково обґрунтовано ідею використання запропонованих методів, розробка алгоритму роботи, аналіз та узагальнення переваг запропонованих методів;*

3. Гриценко А.Н. Сравнительный анализ законов распределения железа связанного с магнетитом / А.Н. Гриценко // Журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность». – 2012 - №2. - с. 74-75;

4. Гриценко А.Н. Мобильная станция для каротажа взрывных скважин / А.А. Азарян, А.Н. Гриценко // «Нові технології. Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління». – 2011 – №4 – с. 52-55. *Здобувачем розроблено функціональну схему мобільної станції та принцип її роботи;*

5. Гриценко А.Н. Информационно-измерительная система оперативного использования данных каротажа / А.Н. Гриценко // Збірник наукових праць «Вісник Криворізького національного університету». – 2012 – №31 – с. 218-220.

6. Гриценко А.Н. Планирование горных работ с использованием информации о каротаже взрывных скважин / А.Н. Гриценко // Збірник наукових

праць «Вісник Криворізького національного університету». – 2013 – №34 – с. 32-34.

7. A. Gritsenko Development of the method to operatively control quality of iron ore raw materials at open and underground extraction / A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, D. Shvets // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2018 – №5/5(95)2018. –р. 13-19. (Фахове видання України категорії «А». Входить до МНБ Scopus). *Здобувачем розроблено функціональну схему, виконані дослідження;*

8. A. Gritsenko Using the intensity of absorber gamma radiation to control the content of iron in ore / A. Azaryan, A. Gritsenko, A. Trachuk, V. Serebrenikov, D. Svets // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2019 – №3/5(99)2019. –р. 29-35. (Фахове видання України категорії «А». Входить до МНБ Scopus). *Здобувачем виконані математичні розрахунки, отримано кореляційні залежності;*

9. Гриценко А.Н. Разработка измерительного канала для оперативного контроля содержания железа магнитного во взрывных скважинах / А.А. Азарян, А.А. Трачук, А.Н. Гриценко, Д.В. Шве́ц // Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки. – 2019 -№1 – с. 138-145. *Здобувачем розроблено функціональну схему вимірювального каналу;*

10. Гриценко А.Н. Информационное обеспечение автоматизированной системы контроля качества при добыче железорудного сырья в условиях карьеров / А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.Н. Гриценко, Р.А. Кайгородов, Д.Ю. Мирошник // Науковий журнал «Інженерія програмного забезпечення». – 2012 – №2(10) – с. 17-25. *Здобувачем розроблено алгоритми роботи системи;*

11. Гриценко А.Н. Исследование взаимосвязи показаний ручного и комбинированного каротажного зонда при каротаже буровзрывных скважин / А.Н. Гриценко // Збірник наукових праць «Вісник Криворізького національного університету». – 2015 – №40 – с. 73-77.

12. Гриценко А.Н. Исследование экспресс-анализа содержания общего железа в руде с использованием гамма-излучения / А.А. Азарян, А.Н. Гриценко // Збірник наукових праць «Вісник Криворізького національного університету». – 2016 – №43 – с. 79-84. *Здобувачем проведено лабораторні дослідження та виконано математичну обробку їх результатів, побудовано кореляційні залежності;*

13. Gritsenko A.N. Model gamma radiation in the interaction with rock formation / A.A. Azaryan, A.N. Gritsenko, A.A. Trachuk, V.M. Serebrenikov, D.V. Shvets // International Journal of Robotics and Automation. – 2019 - Vol.8, No.4 – pp. 269-276 (Закордонне видання). *Здобувачем розроблено методіку побудови моделі та інтерпретації результатів моделювання;*

14. Пат. №74623 Україна, G01V 5/00. Пристрій оперативного контролю вмісту корисного компонента в мінеральній сировині / [А.А. Азарян, А.М. Гриценко, В.В. Дрига, Г.М. Лісовий, Д.Ю. Мірошник, А.В. Черкасов].; заявл.16.03.12; опубл. 12.11.12; Бюл. №21. *Здобувачем удосконалено функціональну схему;*

15. Пат. №85059 Україна, G01V 5/00. Пристрій для каротажу свердловин / [А.М. Гриценко]; заявл.26.04.13; опубл. 11.11.13; Бюл. №21;

16. Пат. №118167 Україна, G01V 5/04. Пристрій синхронного гамма-гамма-каротажу з електронним інклінометром / [А.А. Азарян, А.М. Гриценко, Д.Ю. Мірошник, С.В. Пилипенко, Ю.Є., Цибулевський, А.В. Швидкий, А.В. Черкасов].; заявл.13.02.17; опубл. 25.07.17; Бюл. №14. *Здобувачем удосконалено функціональну схему;*

17. Пат. №119777 Україна, G01V 5/00. Пристрій оперативного контролю вмісту корисного компонента у мінеральній сировині / [А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.М. Гриценко, В.В. Дрига, Д.Ю. Мірошник, Ю.Є., Цибулевський, А.В. Черкасов, А.В. Швидкий].; заявл. 05.04.17; опубл. 10.10.17; Бюл. №19. *Здобувачем розроблено алгоритм роботи пристрою;*

18. Пат. №121880 Україна, G01V 3/28. Пристрій для магнітного каротажу геофізичних свердловин / [А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.М. Гриценко, В.В. Дрига, Д.Ю. Мірошник, Ю.Є., Цибулевський, А.В. Черкасов, А.В. Швидкий].; заявл.07.04.17; опубл. 26.12.2017; Бюл. №24. *Здобувачем удосконалено функціональну схему;*

19. Пат. №123234 Україна, G01V 5/12. Свердловинний пристрій для селективного гамма-гамма каротажу / [А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.М. Гриценко, В.В. Дрига, Д.Ю. Мірошник, Ю.Є., Цибулевський, А.В. Черкасов, А.В. Швидкий].; заявл.05.04.17; опубл. 26.02.2018; Бюл. №4. *Здобувачем удосконалено функціональну схему;*

20. Гриценко А.Н. Методика обработки данных по каротажу / А.В. Швидкий, А.В. Черкасов, А.Н. Гриценко // Матеріали міжнародного симпозиума «Якість мінерального сировини», КТУ, 18–23 червня 2012 р., м. Ялта.–Кривий Ріг . – 2011 – с. 216-221. *Здобувачем запропоновано ідею, виконано розрахунки, проведено промислові дослідження, узагальнено висновки;*

21. Гриценко А.Н. Использование информационно-вычислительных систем для каротаж скважин / А.Н. Гриценко // «Інформаційні управляючі системи та технології», Одеса 08-10 жовтня 2013 р.: Матеріали міжнародної наук.-практ. конф. Одеса – 2013 – с. 63-65;

22. Гриценко А.Н. Исследование и учет влияния воздушного зазора между датчиком и горной породой на точность определения содержания железа общего гамма-гамма методом / А.Н. Гриценко, В.В. Дрига // Сьомий міжнародний симпозіум «Якість мінерального сировини», Кривий Ріг – 09-11 вересня 2015 р : Матеріали симпозіуму Кривий Ріг – 2014 – с. 238-247 *Здобувачем запропоновано ідею, виконано лабораторні дослідження та математична обробка їх результатів, сформульовано висновки;*

23. Гриценко А.Н. Интегральный поток интенсивности рассеянного гамма-излучения как функция от параметров геометрии измерения / А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.Н. Гриценко, А.А. Трачук // Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference "Modern Scientific Achievements and Their Practical Application" (October 31, 2017, Dubai, UAE). сб. тр. №11(27), Vol.1, November 2017. – С. 18–24. *Здобувачем виконані дослідження*

запропонованої ідеї, та побудова кореляційних залежностей результатів дослідження;

24. Gritsenko A. Research of opportunities for increasing control accuracy of femag content in blastholes// A. Azaryan, A. Trachuk, D. Shvets, A. Gritsenko// 14-th international conference “Science and society”: Hamilton, Canada, 20 september 2019 // Materials conference Hamilton – 2019 - pp. 4-9. *Здобувачем розроблено функціональну схему.*

АНОТАЦІЯ

Гриценко А.М. Удосконалення методів та засобів визначення вмісту корисних компонентів в залізорудному масиві. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 - Прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», МОН України, м. Київ, 2021.

Дисертація присвячена розробці та удосконаленню методів та засобів синхронного визначення вмісту заліза загального і заліза магнетитового в залізорудному масиві.

Основне наукове завдання дисертаційної роботи полягає у встановленні закономірностей зміни інтенсивності інтегрального потоку розсіяного гамма-випромінювання гірською породою в залежно від її механічних і фізико-хімічних властивостей, стану поверхні свердловини, а також залежності магнітної сприйнятливості гірських порід від вмісту заліза магнетитового, з метою підвищення точності оперативного контролю вмісту корисних компонентів в залізорудному масиві по стінці вибухової свердловини.

Ключові слова: Вміст заліза магнетитового, вміст заліза загального, селективний гамма-гамма метод, індуктивний метод, комбінований свердловинний пристрій, оперативний контроль.

АННОТАЦИЯ

Гриценко А.Н. Совершенствование методов и средств определения содержания полезных компонентов в железорудном массиве. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 - Приборы и методы контроля и определения состава веществ. - Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», МОН Украины, г. Киев, 2021.

Диссертация посвящена разработке методов и средств синхронного определения содержания железа общего и железа магнетитового в железорудном массиве.

Основные научные задачи диссертационной работы заключаются в установлении закономерностей изменения интенсивности интегрального потока

рассеянного гамма-излучения горной породой, в зависимости от её механических и физико-химических свойств, состояния поверхности скважины, а также зависимости магнитной восприимчивости горных пород от содержания железа связанного с магнетитом, для повышения точности оперативного контроля содержания железа общего и связанного с магнетитом в железорудном массиве по стенке взрывной скважины.

Ключевые слова: Содержание железа магнетитового, содержание железа общего, селективный гамма-гамма метод, индуктивный метод, комбинированное скважинное устройство, оперативный контроль.

SUMMARY

Hrytsenko A.M. Improvement of methods and means of determining the content of useful components in the iron ore massif. - On the rights of the manuscript.

PhD thesis for the degree of candidate of technical sciences in the study program 05.11.13 - Instruments and methods for monitoring and determining the substances composition. - National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», MES of Ukraine, Kiev, 2021.

PhD thesis devoted to the development of methods and means of synchronous determination of total iron and magnetite iron content in the iron ore massif.

The dissertation main scientific task is to establish change regularities in the intensity of integral flux of scattered gamma radiation by rock, depending on its mechanical and physicochemical properties, the borehole surface state, as well as the rocks magnetic susceptibility dependence on iron content associated with magnetite, for increasing the operational control accuracy of the total iron content and associated with magnetite in the iron ore massif along the explosive borehole wall.

The research idea is to simultaneously use the interaction results of magnetic and radiation fields with rocks and, depending on their physicochemical properties, to determine the iron content.

The research objective is to solve an urgent scientific problem, which is to improve methods and means of increasing the accuracy of instruments for determining useful components (total iron and magnetite) content in iron ore by synchronous use of radiation and electromagnetic fields with rocks massifs and factors interfere.

The research justifies the advantages of the magnetometric method for determining the iron content in the rock mass. The instrument model was developed. The operation principle is based on the measuring coil inductance registration, in the magnetic field of which the ore is placed, using an autogenerator, the frequency of which depends on the inductance. The possibility of using this method for the ores of the Krivoy Rog deposits was proved. The method accuracy was determined, which is 0,81 %.

The interaction processes of gamma radiation with iron ore are considered. The gamma-gamma method advantages for determining the total iron content in the iron ore massif were justified. Methods for gamma radiation registration are

considered, their advantages and disadvantages for measurement conditions in boreholes are determined.

Analytical expressions for measurement unit geometric parameters optimization are obtained.

The method accuracy is laboratory determined for Krivoy Rog deposits ores, which is 0,78 %.

The factors influence on the methods accuracy for iron determination was investigated. Among them are material composition, density, humidity, and geometric measurement factors, borehole flooding with water. Each factor influence degree on the accuracy was determined.

The content indicators relationship of total iron and magnetite for the Bolshaya Gleyevatka deposit was determined.

To improve the accuracy, a synchronous method for determining useful components was justified and developed, in which identical ore objects are measured by two methods, and borehole sections where there are factors that reduce the accuracy are identified.

To carry out measurements in boreholes filled with water, scaling factors method was justified and developed to correct the gamma-gamma method indications.

To reduce the borehole water content influence on the gamma-gamma measurement, the method of using scale factors and the determined correlation between total iron and magnetite was proposed and justified. An algorithm for analysis and correction of data of synchronous method was developed, which determines the borehole flooded intervals and specifies the total iron content control results.

Operational control proposed methods industrial tests of total iron content in flooded boreholes have increased the measurements accuracy by 3,5 times, to the level of $\pm 2,4$ %.

A combined borehole instrument was developed, which functionally contains the equipment of two links in one body. The gamma quanta registration is carried out by NaJ(Tl) scintillation detector with a photomultiplier tube, the pulses of which are delivered to the counter of amplification and allotment of signals information window are then counted by the microcontroller synchronously with the magnetic link pulses.

The borehole instrument was integrated into «Carrer-Kryvbas» mobile station. Laboratory and industrial tests were carried out; the distributions convergence of the iron content over depth was compared.

Keywords. Magnetic iron content, total iron content, selective gamma-gamma method, inductive method, combined downhole device.